

*Implementasi Rangkaian RLC dengan  
Metode Runge Kutta Orde 4*

## IMPLEMENTASI RANGKAIAN RLC DENGAN METODE RUNGE KUTTA ORDE 4

**Weni Setia Murjannah**

S1 Fisika, MIPA, Universitas Negeri Surabaya, jannah.nur6@gmail.com

**Agus Prihanto**

Universitas Negeri Surabaya, cogierb201@yahoo.com

### **Abstrak**

Rangkaian RLC memiliki persamaan differensial derajat kedua dan membutuhkan prosedur yang panjang jika dikerjakan secara analitik. Sehingga dilakukan penelitian berbasis komputer dengan metode numerik untuk mempermudahnya. Metode numerik yang dipilih yaitu metode runge kutta orde 4 dengan alasan tidak perlu mencari turunan fungsi terlebih dahulu sehingga lebih mudah serta lebih akurat dengan iterasi yang relatif kecil. Visualisasinya menggunakan bahasa pemrograman Borland Delphi 7. Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan rangkaian RLC dengan metode numerik Runge Kutta orde 4 dan mempermudah analisis rangkaian RLC terhubung secara seri dan paralel serta menganalisis grafik waktu terhadap tanggapan alaminya. Metodenya dengan *study literature*, penyelesaian secara analitik dan numerik, membuat diagram alir dan merancang program, menyelesaikan dan mengoreksi program, pengambilan data. Penelitian ini dilakukan pada rangkaian RLC tanpa sumber yang memiliki tanggapan alami. Tanggapan alami terjadi karena adanya penyimpanan muatan di kapasitor dan penyimpanan energi di induktor. Penelitian ini memanipulasi nilai R pada keadaan awal rangkaian. Dari data dan grafik tanggapan alami diperoleh hubungan R dan  $\alpha$  yang dapat menentukan jenis redaman rangkaian karena jenis redaman akan berubah sesuai dengan perbandingan  $\alpha$  dan  $\omega_0$ . Pada rangkaian RLC seri, penambahan R mengakibatkan peningkatan  $\alpha$ . Peningkatan  $\alpha$  menurunkan derajat osilatoris dan magnitudo maksimum. Dimana sifat osilatoris tanggapan semakin terlihat seiring dengan mengecilnya nilai  $\alpha$ . Pada rangkaian paralel, penambahan R mengakibatkan penurunan  $\alpha$ . Penurunan  $\alpha$  meningkatkan derajat osilatoris dan magnitudo maksimum. Sifat osilatoris kedua rangkaian ini semakin terlihat saat keadaan kurang-teredam dengan  $\alpha$  yang semakin kecil. Keadaan teredam-kritis merupakan suatu keadaan transisi dari teredam-berlebih ke kurang-teredam atau sebaliknya. Dan pada keadaan teredam-berlebih, tanggapan alami akan semakin cepat meluruh pada nilai  $S_1$  dan  $S_2$  yang kecil.

**Kata Kunci:** tanggapan alami, Runge Kutta orde-4, osilatoris.

### **Abstract**

RLC circuit has a second degree differential equation and requires lengthy procedures if done analytically. So the research of computer-based numerical methods had be done to make it easier. Numerical method that is chosen is the Runge Kutta 4 with reasons not need to find the derivative function first so it is easier and more accurate with a relatively small iterations. This visualization use Borland Delphi 7. The aims of this research is to implement the RLC circuit with numerical method Runge Kutta 4, and facilitate analysis RLC circuit connected in series and parallel and analyzed the time of graph to the natural response. The method of this research is study literature, solve analytically and numerically, make flow charts and design the program, complete and correct the program, take the data. The research was conducted at RLC circuit without a source that has a natural response. Natural response happen because of capacity storage in capacitor and energy storage in inductor. This research manipulates the value of R at the first condition of the circuit. From the data and graph of natural response is obtained relationship between R and  $\alpha$  thar can determine the damping type of circuit because the damping type will change according to the ratio of  $\alpha$  and  $\omega_0$ . In the series RLC circuit, the addition of R resulted an increase of  $\alpha$ . Increase  $\alpha$  degrade osilatoris and maximum magnitude. Where the nature of osilatoris the response increasingly seen as the diminution of the  $\alpha$  value. In a parallel circuit, the addition of R resulted a decrease of  $\alpha$ . Decrease  $\alpha$  increasing degrees osilatoris and maximum magnitude. Osilatoris nature of the two sets is increasingly seen as a less-damped with  $\alpha$  smaller. Critical-damped is a condition of transition from over-damped to less-damped or otherwise. And on the condition of the over-damped, natural response will be more rapid decay in the value of  $S_1$  and  $S_2$  are small.

**Keywords:** natural response, Runge Kutta 4, osilatoris.

## PENDAHULUAN

Rangkaian listrik adalah suatu kumpulan elemen atau komponen listrik yang saling dihubungkan dengan cara-cara tertentu dan paling sedikit mempunyai satu lintasan tertutup. Pada rangkaian listrik tersusun oleh komponen pasif maupun aktif. Keberadaan dua komponen pasif induktor dan kapasitor dalam satu rangkaian listrik secara bersamaan, yakni rangkaian RLC, akan menghasilkan sebuah sistem persamaan differensial derajat kedua. Persamaan matematis ini cukup panjang prosedurnya jika diselesaikan secara analitik.

Oleh karena itu, penelitian pada persamaan differensial rangkaian RLC ini dilakukan untuk mempermudah penyelesaiannya. Penyelesaian yang akan digunakan untuk mempermudah permasalahan matematis tersebut adalah penyelesaian secara numerik. Penyelesaian secara numerik sering disebut metode numerik. Metode numerik merupakan teknik untuk menyelesaikan permasalahan-permasalahan yang diformulasikan secara matematis dengan cara operasi hitungan yang diproses dengan efisien. Operasi hitungan dilakukan dengan iterasi dalam jumlah yang sangat banyak dan berulang-ulang. Hasil dari penyelesaian numerik merupakan nilai pendekatan dari penyelesaian analitik. Oleh karena itu diperlukan bantuan komputer untuk melaksanakan operasi hitungan tersebut.

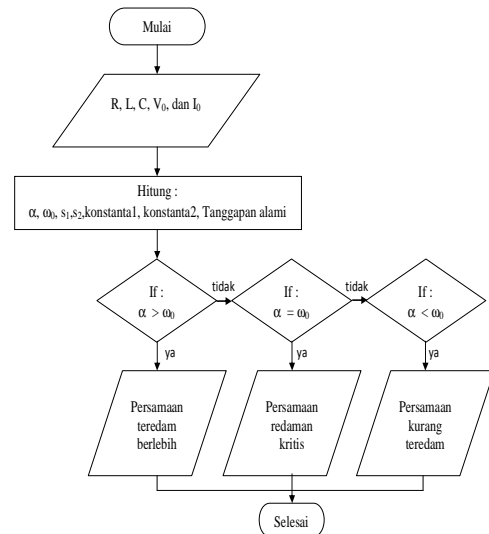
Penelitian tanggapan alamiah rangkaian RLC dengan metode numerik sudah pernah ada sebelumnya. Penelitian kali ini melakukan yang belum pernah dilakukan peneliti sebelumnya yakni membuat grafik tanggapan alaminya dan *database* hasil hitungannya serta menggunakan metode numerik yang berbeda. Metode numerik yang digunakan adalah metode Runge Kutta orde 4 dengan alasan metode ini tidak perlu mencari turunan fungsi terlebih dahulu sehingga lebih mudah serta lebih akurat dengan iterasi yang relatif kecil. Karena penyelesaian numerik memerlukan bantuan komputer untuk proses hitungannya, penelitian ini menggunakan bahasa pemrograman Borland Delphi 7 sebab tidak sensitif terhadap spasi, tidak membedakan huruf kecil dan kapital dan program yang dibuat dapat langsung dijalankan dan didistribusikan pada komputer lain tanpa perlu menyertakan *file* DLL dari luar.

Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan rangkaian RLC dengan metode numerik Runge Kutta orde 4 dan mempermudah analisis rangkaian RLC terhubung

secara seri dan paralel serta menganalisis grafik waktu terhadap tanggapan alaminya. Dengan harapan akan mempermudah analisis dan penyelesaian secara matematis pada persamaan differensial rangkaian RLC serta sebagai media pembelajaran.

## METODE

Langkah-langkah penelitian ini yaitu *study literature*, penyelesaian secara analitik dan numerik, membuat diagram alir dan merancang program, menyelesaikan dan mengoreksi program, pengambilan data. Diagram alir program sebagai berikut :



## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil implementasi persamaan rangkaian RLC dengan metode numerik Runge Kutta orde-4 dan Borland Delphi 7 adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Halaman simulasi bagian masukan

Pada halaman simulasi ini, analisis rangkaian RLC tanpa sumber akan mudah, hanya dengan mengisi nilai-nilai keadaan awal rangkaian RLC tanpa sumber akan menghasilkan keluaran berupa persamaan, grafik dan data tanggapan alami yang tersimpan pada *database* Microsoft Access serta dapat di cetak.

Tanggapan alami terjadi pada rangkaian RLC tanpa sumber, yakni tanggapan yang terjadi karena

adanya penyimpanan muatan pada kapasitor dan penyimpanan energi pada induktor. Tanggapan alami yang dihasilkan oleh simulator ini merupakan perolehan hasil perhitungan secara analitik maupun numerik. Hasil analitik dan numerik yang menyatakan bahwa simulator ini teruji yaitu kesalahan relatif yang terjadi rata-rata kurang dari 10% bahkan banyak data yang mempunyai kesalahan relatif kurang dari 1%. Walaupun ada  $\pm 10\%$  dari banyak data yang kesalahan relatifnya besar.

Berikut adalah tabel hasil perhitungan nilai-nilai yang merupakan nilai dari besaran-besaran

simbolis yang sangat berperan penting untuk menemukan solusi akhir tanggapan alami dan grafiknya. Tabel 1 dan 2 di bawah ini diambil pada rangkaian RLC seri dengan keadaan awal nilai R yang dimanipulasi, L sebesar 7 henry, C sebesar 0.02381 farad,  $V(0)$  sebesar 0 volt dan  $I(0)$  sebesar 10 ampere. Sedangkan tabel 3 dan tabel 4 dengan keadaan awal  $L = 7$  Henry,  $C = 0.02381$  Farad,  $V(0) = 0$  Volt dan  $I(0) = 10$  Ampere. Pada tabel-tabel ini  $S_1$  dan  $S_2$  adalah solusi persamaan karakteristik,  $A_1$  dan  $A_2$  adalah konstanta pada solusi akhir persamaan rangkaian RLC.

Tabel 1. Hasil perhitungan nilai-nilai untuk solusi akhir persamaan tanggapan alami rangkaian RLC seri dengan tegangan sebagai peubah

NO	R	$\alpha$	$\omega_0$	$S_1$	$S_2$	$\omega_d$	$A_1$	$A_2$
1	30	2.14	2.45	-	-	1.193	0	352.089
2	32	2.29	2.45	-	-	0.871	0	482.271
3	34	2.43	2.45	-	-	0.312	0	1344.36
4	34.29	2.45	2.45	-	-	-	419.991	0
5	36	2.57	2.45	-1.793	-3.346	-	270.563	-270.563
6	38	2.71	2.45	-1.551	-3.868	-	181.3	-181.3
7	40	2.86	2.45	-1.384	-4.335	-	142.321	-142.321
8	42	3	2.45	-1.268	-4.731	-	121.291	-121.291
9	44	3.14	2.45	-1.176	-5.103	-	106.925	-106.925
10	46	3.29	2.45	-1.094	-5.485	-	95.634	-95.634

Tabel 2. Hasil perhitungan nilai-nilai untuk solusi akhir persamaan tanggapan alami rangkaian RLC seri dengan arus sebagai peubah

NO	R	$\alpha$	$\omega_0$	$S_1$	$S_2$	$\omega_d$	$A_1$	$A_2$
1	30	2.14	2.45	-	-	1.193	10	-17.988
2	32	2.29	2.45	-	-	0.871	10	-26.197
3	34	2.43	2.45	-	-	0.312	10	-77.69
4	34.29	2.45	2.45	-	-	-	-24.485	10
5	36	2.57	2.45	-1.793	-3.346	-	-11.574	21.574
6	38	2.71	2.45	-1.551	-3.868	-	-6.735	16.735
7	40	2.86	2.45	-1.384	-4.335	-	-4.672	14.672
8	42	3	2.45	-1.268	-4.731	-	-3.663	13.663
9	44	3.14	2.45	-1.176	-5.103	-	-3.008	13.008
10	46	3.29	2.45	-1.094	-5.485	-	-2.472	12.472

Tabel 3. Hasil perhitungan nilai  $\alpha$ ,  $\omega_0$ , solusi persamaan karakteristik, dan konstanta-konstanta persamaan pada rangkaian RLC paralel dengan tegangan sebagai peubah

NO	R	$\alpha$	$\omega_0$	$S_1$	$S_2$	$\omega_d$	$A_1$	$A_2$
1	2	10.5	2.45	-0.289	-20.71	-	20.567	-20.567
2	4	5.25	2.45	-0.606	-9.893	-	45.225	-45.225
3	6	3.5	2.45	-1	-5.999	-	84.015	-84.015
4	8	2.62	2.45	-1.69	-3.548	-	226.194	-226.194
5	8.57	2.45	2.45	-	-	-	419.991	0
6	10	2.1	2.45	-	-	1.262	0	332.813
7	12	1.75	2.45	-	-	1.715	0	244.944
8	14	1.5	2.45	-	-	1.937	0	216.81
9	16	1.31	2.45	-	-	2.070	0	202.858

10	18	1.17	2.45	-	-	2.153	0	195.11
----	----	------	------	---	---	-------	---	--------

Tabel 4. Hasil perhitungan nilai  $\alpha$ ,  $\omega_0$ , solusi persamaan karakteristik,  $\omega_d$  dan konstanta-konstanta persamaan pada rangkaian RLC paralel dengan arus sebagai peubah

NO	R	$\alpha$	$\omega_0$	$S_1$	$S_2$	$\omega_d$	$A_1$	$A_2$
1	2	10.5	2.45	-0.289	-20.71	-	10.141	-0.141
2	4	5.25	2.45	-0.606	-9.893	-	10.653	-0.653
3	6	3.5	2.45	-1	-5.999	-	12.001	-2.001
4	8	2.62	2.45	-1.69	-3.548	-	19.11	-9.11
5	8.57	2.45	2.45	-	-	-	24.5	10
6	10	2.1	2.45	-	-	1.262	10	16.641
7	12	1.75	2.45	-	-	1.715	10	10.206
8	14	1.5	2.45	-	-	1.937	10	7.743
9	16	1.31	2.45	-	-	2.070	10	6.327
10	18	1.17	2.45	-	-	2.153	10	5.435

Keterangan :

R : hambatan

L : induktansi induktor (Henry)

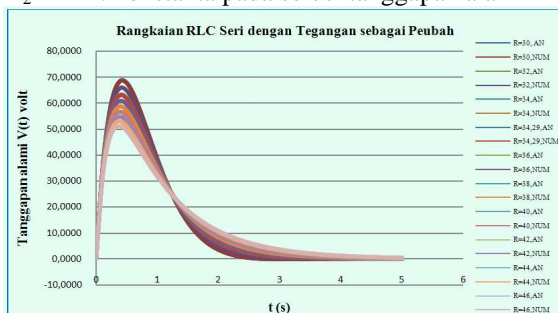
C : kapasitansi kapasitor (Farad)

$\alpha$  : koefisien redaman eksponensial

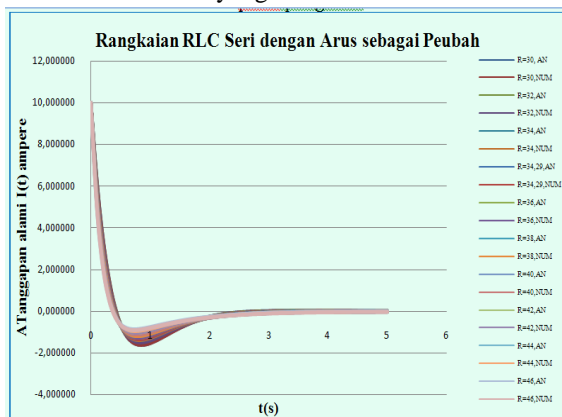
$\omega_0$  : frekuensi resonansi

$A_1$  : konstanta pada solusi tanggapan alami

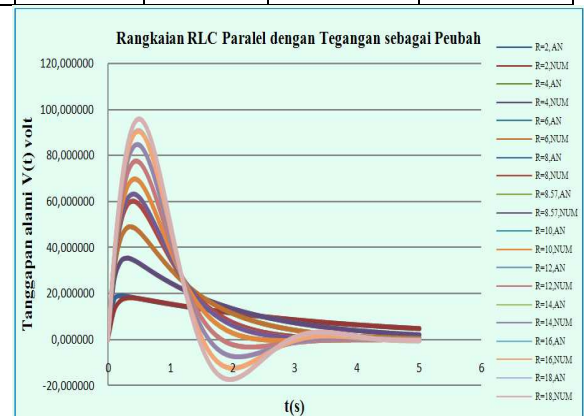
$A_2$  : konstanta pada solusi tanggapan alam



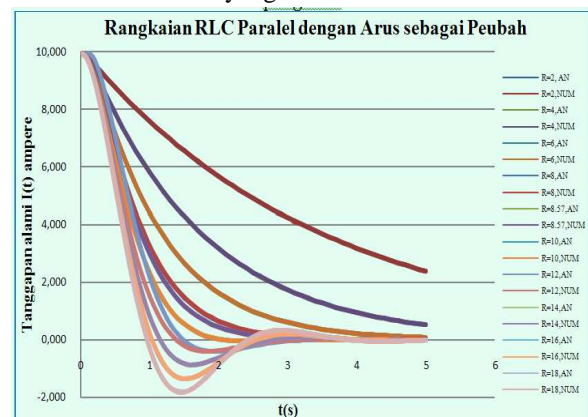
Gambar 2. Grafik hubungan waktu terhadap tanggapan alami rangkaian RLC seri dengan tegangan sebagai peubah dengan sepuluh nilai R yang berbeda.



Gambar 3. Grafik hubungan waktu terhadap tanggapan alami rangkaian RLC seri dengan arus sebagai peubah dengan sepuluh nilai R yang berbeda.



Gambar 4. Grafik hubungan waktu terhadap tanggapan alami rangkaian RLC paralel dengan tegangan sebagai peubah dengan sepuluh nilai R yang berbeda.



Gambar 5. Grafik hubungan waktu terhadap tanggapan alami rangkaian RLC paralel dengan arus sebagai peubah dengan sepuluh nilai R yang berbeda.

Berdasarkan tabel 1 dan 2, nilai  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $\omega_0$ ,  $A_1$  dan  $A_2$  bergantung pada keadaan awal rangkaian. Dari perbandingan nilai  $\alpha$  dan  $\omega_0$  ini kita dapat mengetahui sifat dasar rangkaian dan juga tanggapan yang diberikan rangkaian. Sehingga baik tabel 1 maupun tabel 2 dapat ditentukan bahwa data ke-1



sampai ke-3 merupakan rangkaian RLC seri kurang-teredam, nilai  $\alpha < \omega_0$ . Data ke-4 merupakan rangkaian RLC seri teredam-kritis, nilai  $\alpha = \omega_0$ . Data ke-5 sampai ke-10 merupakan rangkaian RLC seri teredam-berlebih, nilai  $\alpha > \omega_0$ .

Pada gambar 2 dan 3 juga terdapat tiga keadaan redaman rangkaian sesuai tabel di atas. Tanggapan alami dengan tegangan sebagai peubah merupakan tegangan yang terdapat pada kapasitor dimana kapasitor merupakan penyimpan muatan. Grafik pada gambar 2 dan 3, dari angka nol bergerak naik yang menunjukkan terjadinya pengisian muatan kapasitor dimana keadaan awal tegangan nol dan bergerak turun menuju angka nol yang menunjukkan pelepasan muatan kapasitor. Sedangkan tanggapan alami dengan arus sebagai peubah merupakan arus yang terdapat pada induktor yang mana induktor merupakan penyimpan energi dalam bentuk medan listrik. Grafik pada gambar tersebut dari angka 10 (keadaan awal arus) bergerak turun menuju angka nol yang menunjukkan pelepasan energi pada induktor. Kedua grafik ini saling mempengaruhi karena diambil pada keadaan awal yang sama. Sehingga pada rangkaian RLC seri ini terjadi pengisian kapasitor oleh arus induktor. Awalnya tegangan kapasitor naik karena menerima pelepasan energi dari induktor dan setelah tegangan kapasitor mencapai puncak kemudian menurun karena kapasitor melepaskan muatan yang telah diterimanya.

Berdasarkan tabel dan gambar grafik di atas, jenis redaman dapat dirubah dengan memperbesar nilai R seri ekuivalen sehingga meningkatkan nilai  $\alpha$ . Peningkatan nilai  $\alpha$  ini merubah jenis redaman tanggapan alami rangkaian karena jenis tanggapan alami bergantung pada perbandingan nilai  $\alpha$  dan  $\omega_0$  selain itu juga menurunkan derajat osilatoris. Karena sifat osilatoris menjadi semakin terlihat seiring dengan mengecilnya nilai  $\alpha$  (Hayt, dkk, 2005). Menurunnya derajat osilatoris berarti menurunnya magnitudo maksimum tanggapan alami.

Sifat osilatoris tanggapan alami di sekitar nol ketika rangkaian di bawah pengaruh kurang-teredam. Keadaan rangkaian yang sebenarnya jarang ditemui adalah teredam-kritis. Keadaan ini menunjukkan suatu transisi dari keadaan teredam-berlebih ke keadaan kurang-teredam atau sebaliknya. Nilai  $S_1$  dan  $S_2$  yang dimiliki rangkaian teredam-berlebih akan menjadi eksponen-eksponen dalam solusi akhir persamaan tanggapan alami dan menggambarkan seberapa cepat tanggapan alami akan meluruh atau teredam habis menuju nilai *steady state*. Dengan selisih nilai  $S_1$  atau  $S_2$  yang

kecil akan menunjukkan bahwa keadaan tersebut lebih cepat meluruh. Nilai tanggapan ketiga keadaan tersebut akan meluruh menuju nol untuk nilai t yang besar.

Berdasarkan tabel 3 dan 4, nilai  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $\omega_0$ ,  $A_1$  dan  $A_2$  bergantung pada keadaan awal rangkaian. Dari perbandingan nilai  $\alpha$  dan  $\omega_0$  ini kita dapat mengetahui sifat dasar rangkaian dan juga tanggapan yang diberikan rangkaian. Saat nilai  $\alpha > \omega_0$ , rangkaian dikatakan dalam keadaan teredam-berlebih ditunjukkan data ke-1 sampai dengan ke-4. Pada keadaan ini rangkaian memiliki nilai  $S_1$  dan  $S_2$ . Rangkaian teredam-kritis jika nilai  $\alpha = \omega_0$ , data ke-5. Dan kurang-teredam jika nilai  $\alpha < \omega_0$ , data ke-6 sampai dengan ke-10.

Nilai awal tanggapan alami sama dengan nilai keadaan awal arus atau tegangan pada rangkaian. Grafik-grafik pada gambar 4 dan 5 juga mengalami tiga keadaan redaman rangkaian sesuai pembahasan tabel 3 dan 4. Tanggapan alami dengan tegangan sebagai peubah merupakan tegangan yang terdapat pada kapasitor dimana kapasitor merupakan penyimpan muatan. Grafik pada gambar tersebut dari angka nol bergerak naik yang menunjukkan terjadinya pengisian muatan kapasitor dan bergerak turun menuju angka nol yang menunjukkan pelepasan muatan kapasitor. Sedangkan tanggapan alami dengan arus sebagai peubah merupakan arus yang terdapat pada induktor yang mana induktor merupakan penyimpan energi dalam bentuk medan listrik. Grafik pada gambar tersebut dari angka 10 bergerak turun menuju angka nol yang menunjukkan pelepasan energi pada induktor. Kedua grafik ini saling mempengaruhi karena diambil pada keadaan awal yang sama. Sehingga pada rangkaian RLC paralel ini terjadi pengisian kapasitor oleh arus induktor. Awalnya tegangan kapasitor naik karena menerima pelepasan energi dari induktor dan setelah tegangan kapasitor mencapai puncak kemudian menurun karena kapasitor melepaskan muatan yang telah diterimanya.

Berdasarkan tabel dan grafik di atas bahwa redaman dapat dirubah dengan memperbesar nilai R paralel ekuivalen sehingga menurunkan nilai  $\alpha$ . Penurunan nilai  $\alpha$  ini merubah jenis redaman tanggapan alami rangkaian karena jenis tanggapan alami bergantung pada perbandingan nilai  $\alpha$  dan  $\omega_0$  selain itu juga meningkatkan derajat osilatoris. Karena sifat osilatoris semakin terlihat seiring dengan mengecilnya nilai  $\alpha$  (Hayt, dkk, 2005). Meningkatnya derajat osilatoris berarti

meningkatkan magnitudo maksimum tanggapan alami.

Nilai  $S_1$  dan  $S_2$  yang dimiliki rangkaian teredam berlebih akan menjadi eksponen-eksponen dalam solusi akhir persamaan tanggapan alami dan menggambarkan seberapa cepat tanggapan alami akan meluruh atau teredam habis menuju nilai *steady state*. Pada keadaan teredam berlebih bahwa semakin cepat mengalami peluruhan dengan selisih nilai  $S_1$  dan  $S_2$  tidak terlalu jauh. Keadaan rangkaian yang sebenarnya jarang ditemui adalah teredam-kritis. Keadaan ini menunjukkan suatu transisi dari keadaan teredam-berlebih ke keadaan kurang-teredam atau sebaliknya. Sifat osilatoris tanggapan alami di sekitar nol ketika rangkaian di bawah pengaruh kurang-redaman. Nilai tanggapan ketiga keadaan tersebut akan meluruh menuju nol untuk nilai  $t$  yang besar.

## PENUTUP

### Simpulan

1. Implementasi rangkaian RLC dengan metode numerik Runga Kutta orde-4 ini telah selesai dan teruji kebenarannya sesuai dengan analisis data dan grafik yang dilakukan dengan perbandingan teori yang ada.
2. Analisis rangkaian RLC terhubung secara seri dan paralel dengan program yang telah dibuat terasa mudah, hanya dengan memasukkan nilai keadaan awalnya langsung menghasilkan jenis redaman rangkaian, solusi persamaan tanggapan alami, nilai  $\alpha$ ,  $\omega_0$ , koefisien kompleks, konstanta persamaan dan tanggapan alami.
3. Analisis grafik waktu terhadap tanggapan alami pada rangkaian RLC seri dan paralel. Tanggapan alami terjadi karena adanya penyimpanan muatan di kapasitor dan penyimpanan energi di induktor. Jenis redaman akan berubah sesuai dengan perbandingan  $\alpha$  dan  $\omega_0$ . Pada rangkaian RLC seri, penambahan  $R$  mengakibatkan peningkatan  $\alpha$ . Peningkatan  $\alpha$  menurunkan derajat osilatoris dan magnitudo maksimum. Pada rangkaian paralel, penambahan  $R$  mengakibatkan penurunan  $\alpha$ . Penurunan  $\alpha$  meningkatkan derajat osilatoris dan magnitudo maksimum. Sifat osilatoris kedua rangkaian ini semakin terlihat saat keadaan kurang-teredam dengan  $\alpha$  yang semakin

kecil. Keadaan teredam-kritis merupakan suatu keadaan transisi dari teredam-berlebih ke kurang-teredam atau sebaliknya. Dan pada keadaan teredam-berlebih, tanggapan alami akan semakin cepat meluruh pada nilai  $S_1$  dan  $S_2$  yang kecil.

### Saran

Penelitian ini tidak lepas dari keterbatasan kami sebagai peneliti. Kami berharap ada penelitian lanjutan dengan saran untuk menambahkan tanggapan paksaan rangkaian dan gambar rangkaian yang lebih komunikatif.

### DAFTAR PUSTAKA

- Giancoli. 2001. *Dasar-dasar Fisika Universitas*. Jakarta: Erlangga
- Hayt, William H. Jr., dkk. 2005. *Rangkaian Listrik Jilid 1 Edisi keenam*. Jakarta: Erlangga
- Ichwan, M. 2011. *Pemrograman Basis Data Delphi7 dan MySQL*. Bandung: Informatika
- Jack. 2006. *Metode Numerik Buku Bahan Ajar Unila*. diakses tanggal 7 Juli 2012
- Limbong, SOD. *Rangkaian Listrik II*. Pusat Pengembangan Bahan Ajar Universitas Mercubuana. diakses tanggal 7 Juli 2012
- Pemrograman Borland Delphi 7 (Jilid 1)*. Yogyakarta: Andi, Madiun: MADCOMS, 2002
- Ramdhani, Mohamad. 2005. *Rangkaian Listrik*. STTTELKOM Bandung. diakses tanggal 2 Juni 2011
- Sudirham, Sudaryanto. 2002. *Analisis Rangkaian Listrik*. ITB: Bandung
- Utomo, DJ. 2009. *Komputasi Rangkaian Resistor, Induktor dan Kapasitor menggunakan Bahasa Pemrograman Delphi 7.0*. Unesa: Surabaya
- Zaenab. 2011. *Buku Bahan Ajar Rangkaian Listrik II*. Universitas Hasanudin. diakses tanggal 10 September 2012



**UNESA**  
Universitas Negeri Surabaya